

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 63-044106  
(43)Date of publication of application : 25.02.1988

(51)Int.Cl. G01B 11/06  
H01L 21/66

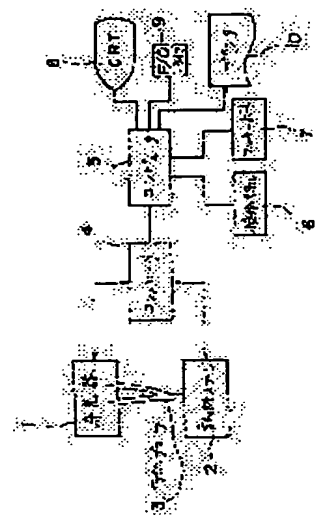
(21)Application number : 61-187878 (71)Applicant : CANON INC  
(22)Date of filing : 12.08.1986 (72)Inventor : CHOKAI ARINORI

## (54) FILM THICKNESS MEASURING METHOD

### (57)Abstract:

**PURPOSE:** To enable calculation of a specimen film thickness, even if the number of the extreme value is one or less, by obtaining an approximation equation of a spectro-reflectivity curves from measured data, and an intersecting point of the theoretical maximum and minimum values of spectro-reflection of and this approximation equation curve a specimen.

**CONSTITUTION:** A beam of light separated by a spectroscope 1 into spectral components is projected onto a specimen surface on a specimen stage 2 by a fiber probe 3 and the reflected beam is received by the probe 3 again and it is converted to an electric signal by a photo-electricity convertor element located in the spectroscope 1. A controller 4 controls wave-length setting of the spectroscope 1 and displacement of the stage 2 and a CPU 5 obtains the reflectivity by receiving a signal from the photo-electricity convertor element digitally converted by the convertor 4, and performs the firm thickness calculation. By this arrangement, wave-lengths, reflectivities at the start and end times respectively are obtained and approximations by the multi-element equations, etc. are made of the spectro-reflectivity curves and the points of crossing of this approximation equation and the theoretical maximum (or minimum) value of the spectro-resistivity of the specimen and taken as the point of the maximum (or minimum) value. Further, by using the maximum and minimum values of these wave length, a film thickness can be detected.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]  
[Date of sending the examiner's decision of rejection]  
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]  
[Date of final disposal for application]  
[Patent number]

[Date of registration]  
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of extinction of right]

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

昭63-44106

⑬ Int.Cl.<sup>4</sup>

G 01 B 11/06  
H 01 L 21/66

識別記号

庁内整理番号

G-7625-2F  
7168-5F

⑭ 公開 昭和63年(1988)2月25日

審査請求 未請求 発明の数 1 (全6頁)

⑮ 発明の名称 膜厚測定方法

⑯ 特 願 昭61-187878

⑰ 出 願 昭61(1986)8月12日

⑱ 発 明 者 島 海 有 紀 神奈川県川崎市中原区今井上町53番地 キヤノン株式会社  
小杉事業所内

⑲ 出 願 人 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号

⑳ 代 理 人 弁理士 伊東 辰雄 外1名

#### 明 細 書

#### 1. 発明の名称

膜厚測定方法

#### 2. 特許請求の範囲

1. 薄膜状試料に光を照射しその分光反射率を測定することにより該試料の膜厚を測定する方法において、

分光反射率の測定範囲内に極値が多くとも1個しか存在しない場合であっても、該測定範囲内において測定した波長とその波長の光に対する反射率のデータから分光反射率曲線の近似式を求め、該近似式曲線と上記試料の分光反射率の理論上の最大値および理論上の最小値とが交わる点をそれぞれ極大値および極小値をとる波長とみなし、これらの極大値と極小値の波長を用いて膜厚を検出することを特徴とする膜厚測定方法。

2. 前記近似式が、多項式である特許請求の範囲第1項記載の膜厚測定方法。

3. 前記膜厚の検出が、前記測定範囲内において測定したまたは前記近似式から算出して得た極大

値若しくは極小値の波長の間隔より検出する特許請求の範囲第1項または第2項記載の膜厚測定方法。

4. 前記測定範囲内において極値をもたない場合は測定開始点および測定終了点の測定データから前記近似式を求め、前記測定範囲内において極値を1個もつ場合は該極値と測定開始点または測定終了点との測定データから前記近似式を求める特許請求の範囲第1項、第2項または第3項記載の膜厚測定方法。

#### 3. 発明の詳細な説明

##### 〔発明の属する分野〕

本発明は、膜厚(膜の厚さ)測定方法に関し、詳しくは薄膜特に半導体工程でのシリコン上の酸化膜等のようにマイクロメートル以下の厚さである薄膜の厚さ算出方法に関する。

##### 〔従来の技術〕

まず、従来より利用されている膜厚測定方法における基本的な膜厚検出の測定原理について第5図(a)(b)を用いて以下説明する。

媒質の屈折率を入射側から  $k_1, k_2, k_3$  とし、いま測定しようとする膜厚を  $d$  とする。使用波長（真空中での波長  $\lambda_0$ ）の各々の入射角を  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  とする。この時の振巾反射率  $Y$  は次のようになる。

（参考：M. Born and E. Wolf 著，“Principles of Optics” 3rd edition, PERGAMON PRESS, 62 頁）

$$Y = \frac{Y_{12} + Y_{23} e^{2i\beta}}{1 + Y_{12} Y_{23} e^{2i\beta}} \quad \dots\dots (1)$$

ここで  $Y_{12}$  は媒質①と②の境界でのフレネルの反射係数で、 $Y_{23}$  は媒質②と③の境界でのフレネルの反射係数であり、 $\beta$  は

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda_0} k_2 d \cos \theta_2$$

である。実際、測定可能な量は、反射強度すなわち  $R = |Y|^2$ （通常反射率と呼ぶ）であり、次のようになる。

$$R = \frac{Y_{12}^2 + Y_{23}^2 + 2Y_{12}Y_{23} \cos 2\beta}{1 + Y_{12}^2 + Y_{23}^2 + 2Y_{12}Y_{23} \cos 2\beta} \quad \dots\dots (2)$$

ここで、 $\theta_2 = 0$  とすると  $d$  は次式で求めることができる。

$$d = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{n_2 \times 1/\lambda_2 - n_1 \times 1/\lambda_1} \quad \dots\dots (4-1)$$

また、同様の方法により、反射率が極小値をとる波長  $\lambda_3, \lambda_4$  についても、この  $\lambda_3, \lambda_4$  およびそれぞれの波長での屈折率  $n_3, n_4$  より、膜厚  $d$  を得ることができる。

$$d = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{n_4 \times 1/\lambda_4 - n_3 \times 1/\lambda_3} \quad \dots\dots (4-2)$$

さらに、極大値と極小値  $\lambda_1, \lambda_2$  を使用することにより、

$$d = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{n_2 \times 1/\lambda_2 - n_1 \times 1/\lambda_1} \quad \dots\dots (4-3)$$

で膜厚を得ることができる。

このように、従来は上述の測定原理に基づき膜厚測定をしていた。

ここで、(1) 式を  $\lambda$  に関して微分し、 $R' = 0$  となるような  $\beta$  を求めると  $\sin 2\beta = 0$  となり、

$$2\beta = N \cdot 2\pi \quad \dots\dots (3)$$

が求まる。ただし、 $N$  は整数である。

ところで、反射率が極大値をとる波長を  $\lambda_1, \lambda_2$  とすると、このときの  $\beta_1, \beta_2$  は、

$$\beta_1 = \frac{2\pi}{\lambda_1} n_2 d \cos \theta_2$$

$$\beta_2 = \frac{2\pi}{\lambda_2} n_2 d \cos \theta_2 \quad \text{である。}$$

ここで、 $n_1, n_2$  はそれぞれ波長  $\lambda_1, \lambda_2$  での屈折率である。従って、(3) 式より

$$2\beta_1 = 2 \cdot \frac{2\pi}{\lambda_1} n_2 d \cos \theta_2 = N \cdot 2\pi$$

$$2\beta_2 = 2 \cdot \frac{2\pi}{\lambda_2} n_2 d \cos \theta_2 = (N+1) \cdot 2\pi$$

となり、

$$2(\beta_2 - \beta_1) = 2 \cdot 2\pi \cdot d \cos \theta_2 \left( \frac{n_2}{\lambda_2} - \frac{n_2}{\lambda_1} \right) = 2\pi$$

$$d \cos \theta_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{n_2 \times 1/\lambda_2 - n_1 \times 1/\lambda_1}$$

〔発明が解決しようとする問題点〕

ところが、上記の方法によると、波長の測定範囲に少なくとも2つの極値が存在しないと、膜厚の算出が不可能であるという欠点があった。

また、もし波長範囲が固定されていれば、極値が1個以下しか存在しない場合でも、波長範囲から取り得る膜厚の範囲が分かり（例えば、波長範囲が 400nm ~ 800nm で極値がない場合は  $nd = 100nm$  以下）、近似により極値の存在する波長を得て、膜厚を求めることが可能である。しかし、この場合でも、例えば、レジスト等の膜を測定する場合には近紫外の光を投射すると露光してしまうため測定の波長範囲を短波長から長波長側にシフトさせる必要があった。

本発明は、上述の従来形の問題点に鑑み、試料に照射する光の測定波長範囲内で波長を変化させた場合に、極値が1個しか存在しなくても、あるいは極値が存在しなくても、膜厚の計算を可能にする膜厚測定方法を提供することを目的とする。

【問題点を解決するための手段および作用】

上記の目的を達成するため、本発明の膜厚測定方法は、試料の分光反射率の極値の間隔より膜厚を測定する方法において、分光反射率の測定範囲内に極値が1個あるいは0個しか存在しない場合においても、測定開始の波長と反射率および測定終了の波長と反射率等の値から分光反射率曲線を多項式等により近似し、この近似式と試料の分光反射率の理論上の最大値と交わる点を極大値をとる波長とし、理論上の最小値と交わる点を極小値をとる波長として、上記にて求められた極大値と極小値の波長を用いて膜厚を検出することとを特徴とする。

膜厚からの分光反射率は、一般に下式(5)によって与えられる。

$$R = \frac{\rho_{01}^2 + \rho_{12}^2 + 2\rho_{01}\rho_{12}\cos(-\phi_{01} + \phi_{12} + 2\delta)}{1 + \rho_{01}^2 + \rho_{12}^2 + 2\rho_{01}\rho_{12}\cos(\phi_{01} + \phi_{12} + 2\delta)} \quad \dots\dots(5)$$

ここで、

$\rho_{01}$ は空気層と第一層間の振幅係数

$\lambda_0$ とする。

同様に、極値をとる点P( $\lambda_1$ ,  $R_{max}$ )および測定終了の点E( $\lambda_2$ ,  $R_2$ )間の測定点より近似式 $g(\lambda)$ を求めれば、もう一方の極小値の波長 $\lambda_3$ を求めることができる。

例えば、第1図に示すように、 $f(\lambda)$ および $g(\lambda)$ が $\lambda$ の1次式となるように近似すれば、極小値 $\lambda_2$ および $\lambda_3$ は

$$\lambda_2 = \frac{\lambda_1(R_{min} - R_2) + \lambda_3(R_{max} - R_{min})}{R_{max} - R_2} \quad \dots\dots(6)$$

$$\lambda_3 = \frac{\lambda_2(R_{min} - R_{max}) + \lambda_1(R_2 - R_{min})}{R_2 - R_{max}} \quad \dots\dots(7)$$

で得ることができる。

$\lambda_1$ と上記の式(6)(7)で得られた $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ を使えば(4-3)式から膜厚 $d$ を得ることができる。極小値のみが存在する場合でも同様にして膜厚 $d$ を得ることができる。

また、第2図に示すように測定する波長範囲に

$\phi_{01}$ は空気層と第一層間の位相係数

$\rho_{12}$ は第一層と第二層間の振幅係数

$\phi_{12}$ は第一層と第二層間の位相係数

$\delta$ は位相項で、 $\delta = 2\pi nd/\lambda$ である。

(5)式で、 $\cos$ の項は-1から1の間に入るので、分光反射率は最大値が

$$R_{max} = \frac{\rho_{01}^2 + \rho_{12}^2 + 2\rho_{01}\rho_{12}}{\rho_{01}^2 + \rho_{12}^2 + 2\rho_{01}\rho_{12}}$$

となり、最小値は

$$R_{min} = \frac{\rho_{01}^2 + \rho_{12}^2 - 2\rho_{01}\rho_{12}}{\rho_{01}^2 + \rho_{12}^2 - 2\rho_{01}\rho_{12}}$$

である。どちらも膜厚 $d$ に関係なく得ることができる。

第1図に示すように、測定した波長範囲(波長 $\lambda_0$ から $\lambda_2$ までの範囲)に極値が1個しか存在しない場合、極値をとる点P( $\lambda_1$ ,  $R_1$ )と測定開始の点S( $\lambda_0$ ,  $R_0$ )間の測定点より近似式 $f(\lambda)$ を求める。上述したように最小値 $R_{min}$ は予め算出されているので、 $f(\lambda)$ と $R_{min}$ との交点を求め、その波長を極小値の波長

極値が存在しない場合でも、測定開始の点S( $\lambda_0$ ,  $R_0$ )および測定終了の点E( $\lambda_2$ ,  $R_2$ )から求めた近似式 $h(\lambda)$ と、 $R_{max}$ ,  $R_{min}$ の交点の波長 $\lambda_1$ ,  $\lambda_3$ が

$$\lambda_1 = \frac{\lambda_0(R_{min} - R_2) + \lambda_2(R_2 - R_{min})}{R_2 - R_0} \quad \dots\dots(8)$$

$$\lambda_3 = \frac{\lambda_2(R_{max} - R_2) + \lambda_0(R_2 - R_{max})}{R_2 - R_0} \quad \dots\dots(9)$$

と得られる。従って、(4-3)式から膜厚 $d$ を得ることができる。

なお、 $\lambda_1$ ,  $\lambda_3$ が近似により得られる値であるため、ここで得られる膜厚 $d$ は高精度でない。そこで、(5)式を $d$ に関して解くと、

$$d = \frac{\lambda}{4\pi n} \left[ -\phi_{12} - \tan^{-1} \left( \frac{(R+1) \tan \phi_{01}}{(R-1)} \right) + \cos^{-1} \left( \frac{\rho_{01}^2 + \rho_{12}^2 - R(1 + \rho_{01}^2 + \rho_{12}^2)}{2\rho_{01}\rho_{12} \sqrt{(R-1)^2 \cos^2 \phi_{01} + (R+1)^2 \sin^2 \phi_{01}}} \right) + 2k\pi \right] \quad \dots\dots(10)$$

ただし、 $K = 0, 1, 2, \dots$ である。 $K$ は  
 次数であり、

$$K = 2nd/\lambda \quad \dots\dots(11)$$

で得られるので、(4-3)式で求めた膜厚 $d$ の  
 値を利用してまず次数 $K$ を求め、各波長の反射率  
 $R$ より上記の(10)式を用いて膜厚 $d$ を算出すべ  
 ば、高精度に求めることができる。

#### 【実施例】

以下、図面を用いて本発明の実施例を説明す  
 る。

第3図は、本発明の膜厚測定方法を適用した膜  
 厚測定装置のシステムブロック図である。本装置  
 で膜厚を測定するためには、まず、分光器1で分  
 光された光を試料ステージ2上に置かれた試料面  
 にファイバースコープ3で照明し、試料面から反  
 射した光を再びファイバースコープ3で受け、分  
 光器1内に設けられた光電変換素子により電気信  
 号に変換する。次に、コントローラ4により分光  
 器1の波長設定および試料ステージ2の移動をコ  
 ントロールすると共に、前記分光器1の光電変換

$R_{\dots}$ 、最小反射率 $R_{\dots}$ を得る。次に、ステッ  
 プS4およびステップS6にて、検出された極値  
 の個数の判定を行う。極値の数が2個以上であ  
 れば、ステップS5にてこれらの極値をとる波長 $\lambda$   
 の値を使い前記の(4-1)～(4-3)式によ  
 り膜厚を計算する。極値の数が1個であれば、ス  
 テップS7およびS8にて測定範囲外の極大点、  
 極小点を取る波長 $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ を求め、ステップS  
 9にて先に検出した1つの極値をとる波長 $\lambda$ の値  
 と、計算で求めた波長 $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ を使い(4-  
 3)式によりステップS9にて膜厚を計算する。  
 さらに、極値がない場合にはステップS10、S11  
 にて極大点、極小点を取る波長 $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ を求  
 め、ステップS12にてこれらの $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ を使い  
 (4-3)式により膜厚の計算をする。

さらに、精度よく膜厚を求めるためには第4図  
 のステップS5、S9、S12の後、得られた膜厚  
 の値を使い次数 $K$ を(11)式を用いて求め、(10)式  
 にて各波長の反射率 $R$ より膜厚 $d$ を算出すればよ  
 い。

素子の電気信号をデジタル信号に変換し、そして  
 試料ステージ2の位置を確認する。コンピュータ  
 5は前記コントローラ4を制御すると共にコント  
 ローラ4から得られる前記デジタル信号を受けと  
 り、反射率 $R$ を求め前記(4-1)～(4-3)  
 式から膜厚 $d$ を計算する。そして、その結果をC  
 RT8やフロッピーディスクドライブ9やプリン  
 ター10に出力する。また、操作パネル6とフルキ  
 ーボード7は、コンピュータ5に屈折率等の条件  
 を指定したり、分光器1の波長、試料ステージ2  
 の移動量を指示すると共に測定開始等の指令を行  
 う。操作パネル8は、通常よく使用する条件で測  
 定させる場合で、更にオペレータが誤操作しない  
 よう必要最少限にキーをもっている。

第3図の装置の動作説明を第4図の流れ図に沿  
 って説明する。まず、ステップS1で分光反射率  
 $R$ の測定データを取り込み、ステップS2で前後  
 の測定点の比較を行って反射率 $R$ の極大値および  
 極小値を求める。一方、並行してステップS3で  
 膜および基板の屈折率から理論上の最大反射率

#### 【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、薄膜状  
 試料に光を照射しその分光反射率を測定すること  
 により試料の膜厚を測定する方法において、分光  
 反射率の測定範囲内に極値が多くとも1個しか存  
 在しない場合であっても、測定データから分光反  
 射率曲線の近似式を求め、その近似式曲線と試料  
 の分光反射率の理論上の最大値および最小値とが  
 交わる点を求め、これらの極大値と極小値の波長  
 を用いて膜厚を検出しているので、分光反射率の  
 測定波長範囲中に極値が1個以下でも試料の膜厚  
 を算出することができる。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図および第2図は、本発明における膜厚測  
 定の波長範囲と近似式より算出される極値の関係  
 を示す図。

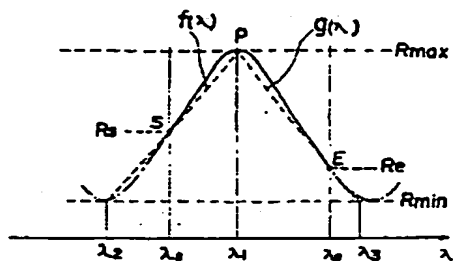
第3図は、本発明の方法を適用した膜厚測定装  
 置のシステムブロック図。

第4図は、上記の装置の動作説明用フローチャ  
 ート。

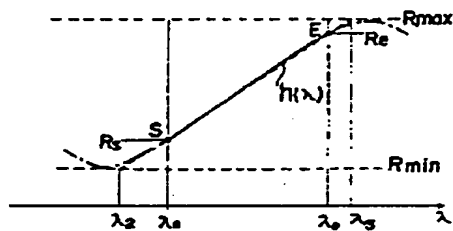
第5図は、膜厚測定の実理説明図である。

1 : 分光器、 2 : 試料ステージ、  
4 : コントローラ、 5 : コンピュータ。

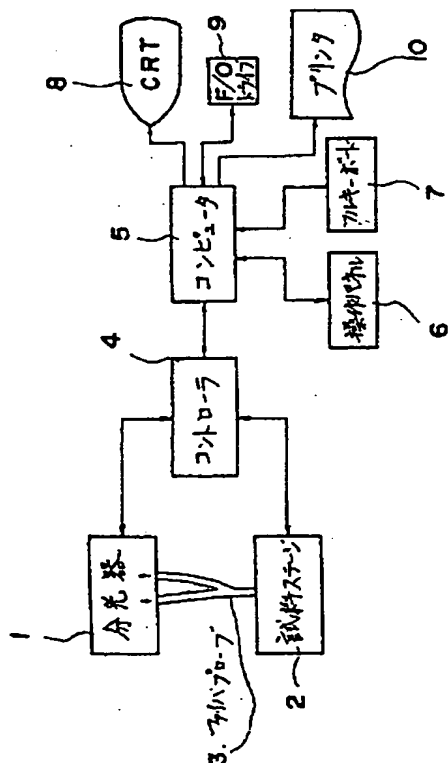
特許出願人 キヤノン株式会社  
代理人 弁理士 伊東辰雄  
代理人 弁理士 伊東哲也



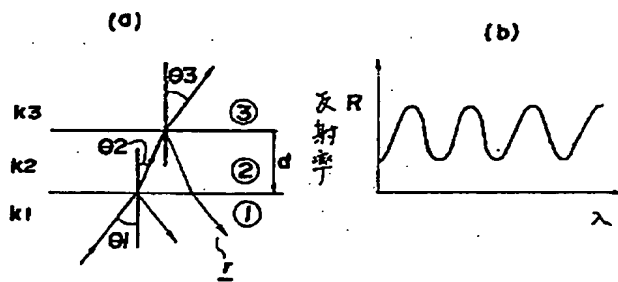
第 1 図



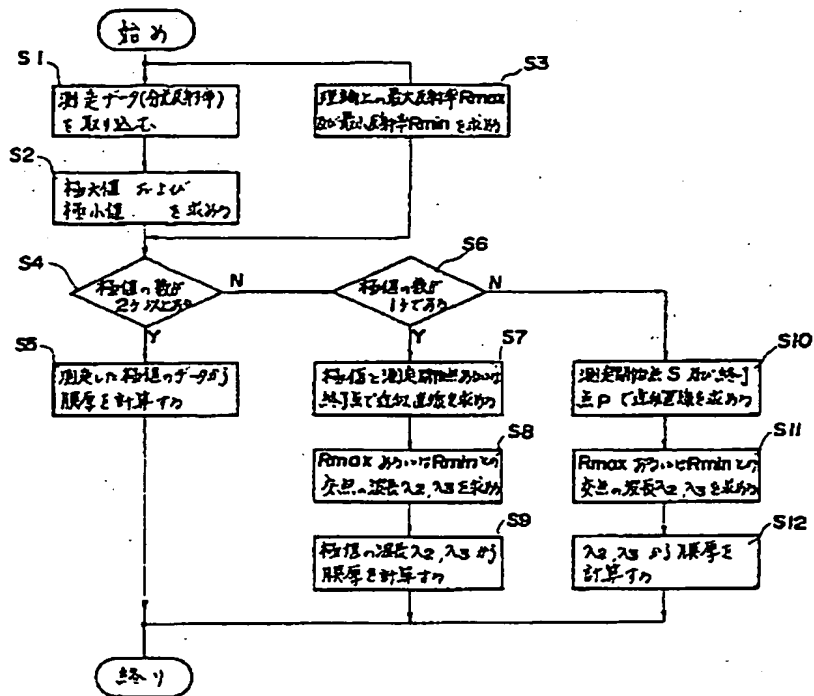
第 2 図



第 3 図



第 5 図



第 4 図